

**KARAKTERISASI PARAMETER PETROFISIKA DAN
MODEL 3-D RESERVOAR KARBONAT
MENGUNAKAN *MICRO COMPUTED
TOMOGRAPHY* (μ CT)**

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1

Program studi Fisika



Diajukan oleh

Mahendra Risky Habibi
13620032

Kepada

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2017**



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

FM-UINSK-BM-05-07/R0

PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Nomor :B- 481/Un.02/DST/PP.05.3/06/2017

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul : Karakterisasi Parameter Petrofisika dan Model 3-D Reservoir Karbonat Menggunakan Micro Computed Tomography (μ CT)

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :
Nama : Mahendra Risky Habibi
NIM : 13620032
Telah dimunaqasyahkan pada : 31 Mei 2017
Nilai Munaqasyah : A

Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang

Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, M.Si.
NIP.19771025 200501 1 001

Penguji I

Asih Melati, S.Si, M.Sc.
NIP.19841110 201101 2 017

Penguji II

Cecilia Yanuarief, S.Si., M.Si.
NIP. 19840127 201503 1 001

Yogyakarta, 8 Juni 2017

UIN Sunan Kalijaga
Fakultas Sains dan Teknologi
Dekan



Dr. Murtono, M.Si
NIP. 19891212 200003 1 001

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Yogyakarta, 7 Juni 2107



Nama : Mahedra Risky Habibi

NIM :13620032

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KARAKTERISASI PARAMETER PETROFISIKA DAN MODEL 3-D RESERVOAR KARBONAT MENGGUNAKAN *MICRO COMPUTED TOMOGRAPHY* (μ CT)

Mahendra Risky Habibi
13620032

Intisari

Penelitian ini telah mengembangkan karakterisasi dan model 3-D dari batuan reservoir karbonat berasal dari Sumatra Selatan dengan formasi X pada kedalaman 1000 sekian meter. Pengembangan ini bertujuan untuk mengetahui nilai besaran fisis petrofisika seperti porositas, *specific surface area*, dan permeabilitas. Selain itu juga dikembangkan model 3-D dari sampel batuan reservoir karbonat yang dibagi menjadi lima sampel, yaitu A, A1, A3, dan sub sampel C1, C2 dari sampel A3. Instrumen yang digunakan adalah mikro-CT Scan *Skyscan 1173*. Proses karakterisasi batuan karbonat menggunakan metode *thresholding Global Otsu* dan *Local Adaptive* untuk menentukan porositas, *specific surface area*, dan permeabilitas diestimasi dengan menggunakan metode *Lattice Boltzmann*.

Sampel A, A1, dan A3 memberikan hasil porositas sebesar 13,2%, 37,0%, dan 13,9% sudah mendekati hasil perhitungan laboratorium petrofisika yang bernilai 13,9%. *Specific surface area* sampel A, A1, dan A3 menunjukkan perbedaan hasil yang cukup besar yaitu orde 10^{-1} s.d 10^{-2} dikarenakan perbedaan resolusi dari citra yang menyebabkan kualitas yang berbeda-beda. Nilai estimasi permeabilitas dari sampel A3 mendapatkan hasil sebesar 1,7 mD dan 11,3 mD, sedangkan hasil perhitungan laboratorium petrofisika sebesar 1,8 mD. Hasil pengolahan yang dimodelkan secara 3-D menggunakan CT-Vox telah memberikan hasil yang cukup baik dengan terlihatnya konektivitas pori pada citra sampel. Hal itu membuktikan semakin tinggi nilai porositas yang didapatkan pada sebuah batuan, maka nilai permeabilitas juga tinggi.

Kata-kata kunci: Mikro-CT Scan, Porositas, *Specific surface area*, Permeabilitas, *Thresholding, Global Otsu, Local Adaptive, CT-Vox*, dan *Lattice Boltzmann*.

KARAKTERISASI PARAMETER PETROFISIKA DAN MODEL 3-D RESERVOAR KARBONAT MENGGUNAKAN *MICRO COMPUTED TOMOGRAPHY* (μ CT)

Mahendra Risky Habibi
13620032

Abstract

This research has developed the characterization and model of 3-dimensional carbonate rock originating from South Sumatra with X formation at a depth of 1000 meters. This development is intended to determine the magnitude of petrophysical properties such as porosity, specific surface area, and permeability. In addition, the 3-D carbonate reservoir rock model is divided into five samples, namely subsamples A, A1, A3, and C1, C2 from sample A3. The instrument used is Micro-CT Skyscan 1173. The method of characterization carbonate rock of thresholding Global Otshu and Local Adaptif to determine the porosity, specific surface area, and permeability is estimated by using Lattice Boltzmann method.

Samples A, A1, and A3 gave porosity of 13.2%, 37.0%, and 13.9% in accordance with 13.9% petrophysical laboratory calculations. The specific surface areas of samples A, A1, and A3 show considerable differences in order yields 10^{-1} up to 10^{-2} because of differences in image resolution causing different qualities. The result value of permeability of A3 sample of 1.7 mD and 11.3 mD, while the calculation of petrophysical laboratory was 1.8 mD. The result of the 3-D modeling process using CT-Vox has produced good results with the emergence of pore connectivity in the sample images. It is evident that higher porosity arises in the rock, its permeability is also high.

Keywords: Micro-CT Scan, Porosity, Specific Surface Area, Permeability, Thresholding, Global *Otshu*, Local Adaptive, CT-Vox, and Lattice Boltzmann.



Diperesembahkan kepada Ayahanda dan Ibunda...



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan petunjuknya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.

Ucapan terima kasih dan rasa hormat atas perhatian, bimbingan, arahan, motivasi dan nasihat penulis sampaikan kepada Dr. Thaqibul Fikri Niyartama M.Si sebagai Dosen Pembimbing, selama proses penelitian dan penulisan disertasi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih atas masukan untuk kesempurnaan penulisan disertasi ini yang diberikan oleh Tim Penguji, yaitu Asih Melati, M.Sc dan C. Yanuarief, M.Si.

Terima kasih penulis sampaikan kepada Dr. Fourier Dzar Eljabbar Latief (Dosen ITB) atas ijinnya dalam penggunaan fasilitas laboratorium Mikro CT-Scan dan kerja samanya dalam proses pemindaian sampel. Bapak Awan dan Bapak Munawir (PLP UIN SUKA) atas ijinnya dalam penggunaan fasilitas laboratorium Informatika. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak Zeki. (Lemigas Jakarta) atas ijin dan kerjasamanya dalam penggunaan sampel batuan karbonat Sumatra.

Ucapan Terimakasih penulis sampaikan kepada Frida Agung Rahmadi, M. Sc selaku dosen pembimbing akademik yang senantiasa memberikan arahan pada saat perkuliahan.

Ucapan terimakasih dan rasa hormat atas segalanya yang tak ternilai harganya penulis tidak akan bisa membalasnya sampaikan kepada Ayahanda Lutfi Satriana dan Ibunda Wiwik Soekowati yang memberikan segalanya dengan tulus dan ikhlas. Semoga kita esok dapat berkumpul kembali di surga-Nya sebagai balasan atas apa yang kalian berikan.

Kepada rekan-rekan di Lab Fisika Batuan, ITB, yaitu: Mas Firman, Mas Candra dan Chris terimakasih atas diskusinya. Rekan-rekan di Lab Informatika: Danang, Aries, dll terimakasih atas bantuannya. Rekan-rekan seangkatan (Keluarga Fisika 2013) Irsyad N.S, dan teman-teman lain yang tidak bisa disebutkan satu per satu oleh penulis, terimakasih dukungannya. Serta Dosen dan Staff Prodi Fisika

Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta atas pelayanan dan dukungan yang diberikan.

Semua pihak yang telah membantu, baik secara dukungan, kasih sayang, motivasi dan lain sebagainya yang tidak bisa disebutkan satu persatu, penulis ucapkan terimakasih sebanyak banyaknya sehingga terselesainya penulisan skripsi ini.

Yogyakarta, 20 Mei 2107

Penulis



DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
Intisari	iv
Abstract	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II LANDASAN TEORI	8
2.1 Tinjauan Pustaka	8
2.2 Landasan Teori	10
2.2.1 Teknik Tomografi dengan μ CT	10
2.2.2 Prinsip Kerja	12
2.2.3 Batuan Karbonat	14
2.2.4 Porositas	16
2.2.5 <i>Specific surface area (SSA)</i>	17
2.2.6 Permeabilitas	17
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.2 Alat dan Bahan	24
3.3 Prosedur Kerja	25

3.3.2	Pemilihan Bahan	26
3.3.3	Pemindaian.....	29
3.3.5	Rekontruksi	30
3.3.5	Karakterisasi	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Hasil	43
4.1.2	<i>Spesific Surface Area (SSA)</i>	44
4.1.3	Porositas	45
4.1.4	Permeabilitas	46
4.2	Pembahasan.....	47
4.2.1	Validasi Pemindaian	47
4.2.2	<i>Spesific Surface Area (SSA)</i>	49
4.2.3	Porositas	52
4.2.4	Permeabilitas	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		56
5.1	Kesimpulan	56
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA		58
LAMPIRAN.....		60
A.	Parameter Pemindaian	60
B.	Hasil citra Sampel A3	60
C.	Hasil Citra Sampel A	61
D.	Hasil Citra Sampel A1	61
E.	Rekontruksi dengan menggunakan Nrecon.	62
F.	Perhitungan Porositas dengan CT-Analizer	63
G.	Hasil Perhitungan <i>CT- Analyser</i>	65
H.	Permeability dengan Palabos	68
I.	Waktu Pelaksanaan	74
DATA PRIBADI.....		75

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN.....	60
A. Parameter Pemindaian	60
B. Hasil citra Sampel A3	60
C. Hasil Citra Sampel A	61
D. Hasil Citra Sampel A1	61
E. Rekontruksi dengan menggunakan Nrecon.	62
F. Perhitungan Porositas dengan CT-Analizer	63
G. Hasil Perhitungan <i>CT- Analyser</i>	65
H. <i>Permeability</i> dengan Palabos	68
I. Waktu Pelaksanaan	74
DATA PRIBADI.....	75

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI

Gambar 1.1	Perkembangan Harga Minyak Brent Tahun 2014-2016.	2
Gambar 2.1	Konfigurasi <i>cone-beam</i> pada μ CT-Skyscan 1173.	11
Gambar 2.2	Skema generator sinar-X.....	12
Gambar 2.3	Klasifikasi batuan karbonat.....	15
Gambar 2.5	Ilustrasi D2Q9 dan D3Q19.....	20
Gambar 2.6	Skema perhitungan konduktifitas <i>hidraulik falling head</i>	23
Gambar 3.1	<i>Mikro CT-Scan 1173</i>	25
Gambar 3.2	Diagram alir prosedur kerja	26
Gambar 3.3	Pengambilan Sampel Batuan Reservoir Karbonat.	26
Gambar 3.4	Sampel <i>Plug Core</i> Batuan Reservoir Karbonat.....	27
Gambar 3.5	Diagram Alir Proses Pemindaian s.d Penentuan Besaran Fisis	28
Gambar 3.6	<i>Profile line</i> dari proyeksi citra sebelum di pindai.	30
Gambar 3.7	Hasil proyeksi yang akan direkonstruksi	31
Gambar 3.8	Kurva <i>misalignment compensation</i>	31
Gambar 3.9	(a) sebelum direduksi <i>beam hardening</i> , (b) sesudah direduksi <i>beam hardening</i>	34
Gambar 3.10	(a) sebelum direduksi RA, (b) sesudah direduksi RA.....	35
Gambar 3.11	Citra Binari (kiri) dan Citra <i>Grayscale</i> (kanan)	36
Gambar.3.12	Result Metode <i>Otsu</i> dengan <i>Histogram Bimodal</i> (Hong, 2016). 38	
Gambar 3.13	(a) Citra Asli (b) Hasil Histogram untuk Citra Asli (c) Hasil Peningkatan kontras (d) Hasil peningkatan kontras.....	39
Gambar 3.14	Ilustrasi perhitungan porositas dengan citra binari.	40
Gambar 3.15	Diagram alir perhitungan <i>specific surface area</i> per citra menggunakan Algoritma Fuzzy C-Mean php (Bimantoro,2017) . 41	
Gambar 4.1	<i>Specific surface area</i>	44
Gambar 4.2	SSA Sampel Reservoir Karbonat dan Grafik Histogram	44
Gambar 4.3	Sub Sampel C1 (kanan) dan Sub Sampel C2 (kiri).....	47
Gambar 4.4	Grafik Histogram dan <i>Profil Line</i> dari sampel A.....	48
Gambar 4.5	Grafik Histogram dan <i>Profil Line</i> dari sampel A1	48
Gambar 4.6	Grafik Histogram dan <i>Profil Line</i> dari sampel A3	48
Gambar 4.7	Grafik <i>Specific surface area</i> Sampel A.....	50

Gambar 4.8	Grafik <i>Spesific surface area</i> Sampel A1	50
Gambar 4.9	Grafik <i>Spesific surface area</i> Sampel A3	50
Gambar 4.10	Grafik <i>Spesific surface area</i> Sampel A, A1, dan A3.	51
Gambar 4.11	Struktur pori (kiri) dan Model sub sampel (kanan) A3 dalam bentuk 3-D metode <i>otshu</i> menggunakan perangkat lunak CT-Vox.	53
Gambar 4.12	Struktur pori sub sampel C1 dan struktur pori sub sampel C2 dalam bentuk 3-D metode <i>otshu</i> menggunakan perangkat lunak CT-Vox.	55
Gambar E.1	Data Rekontruksi.....	62
Gambar E.2	Penentuan <i>Beam of Hardening</i> dan ROA	62
Gambar E.3	Hasil Rekontruksi dengan Melihat Histogram	63
Gambar F.1	Data <i>Citra Grayscale</i>	63
Gambar F.2	Penentuan <i>Region of Interest</i>	64
Gambar F.3	<i>Bitwise Operation</i>	64
Gambar F.4	<i>Thresholding</i>	65
Gambar F.5	<i>3D Analyze</i>	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil Penelitian Anisa	8
Tabel 2.2	Kualitas Reservoir Berdasarkan Nilai Permeabilitas	19
Tabel 3.1	Alat.....	24
Tabel 3.2	Hasil perhitungan Laboratorium Petrofisika (Lemigas).	27
Tabel 3.3	Skenario pemindaian.....	29
Tabel 4.1	Skenario pemindaian.....	43
Tabel 4.2	Ukuran sampel untuk menghitung porositas.....	45
Tabel 4.3	Hasil Rekonstruksi Tanpa Melihat Histogram	45
Tabel 4.4	Hasil Rekonstruksi dengan Melihat Histogram	46
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Permeabilitas dengan Palabos sampel C1	47
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Permeabilitas dengan Palabos sampel C2	47
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Porositas tanpa Histogram.....	52
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan Porositas dengan Histogram.....	52
Tabel 5.1	Hasil Perhitungan Porositas tanpa Histogram.....	56

BAB I

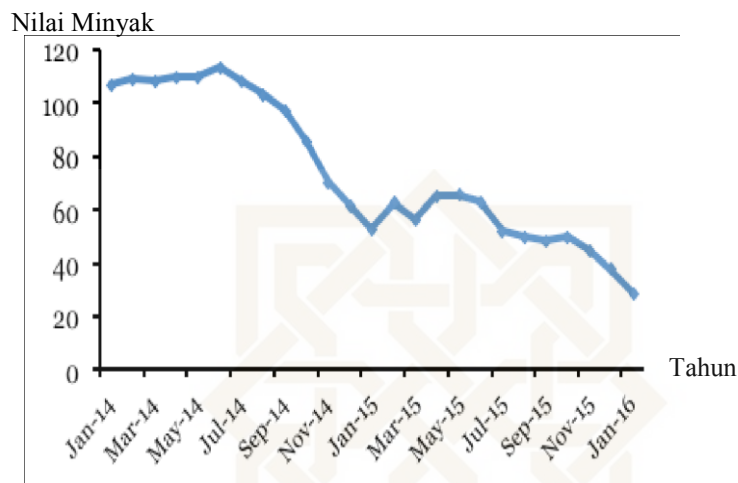
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, telah dilakukan penelitian dibidang eksplorasi dan eksploitasi hidrokarbon untuk menjawab tantangan zaman. Harga hidrokarbon sekarang ini mengalami penurunan, yang menyebabkan peneliti dituntut untuk menemukan teknologi yang efisien waktu dan tenaga, serta meminimalisir ketidakpastian di bidang eksplorasi reservoir. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi *cost production* yang harus ditanggung. Banyak negara-negara seperti Saudi Arabia, Rusia, Venezuela, Brasil dan negara penghasil minyak lainnya mengalami tekanan dan menurunnya pertumbuhan ekonomi sebagai akibat anjloknya pendapatan negara yang sebagian besar diperoleh dari ekspor komoditas migas.

Penurunan harga minyak dunia memberikan dampak negatif bagi perekonomian Indonesia khususnya dalam penurunan kinerja ekspor migas. Realisasi pendapatan negara dari sektor hulu migas pada tahun 2015 mencapai US \$12,86 miliar. Angka ini hanya sekitar 85,8 persen dari target yang ditetapkan dalam Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara Perubahan (APBN-P) 2015 yaitu US \$14,99 miliar. Pendapatan negara dari sektor migas yang tidak tercapai dikarenakan terjadi penurunan harga minyak dunia dalam satu tahun terakhir. Turunnya harga minyak dunia juga telah membuat investasi sektor hulu migas khususnya kegiatan eksplorasi tersendat. Penurunan investasi sektor hulu migas terjadi hampir di seluruh dunia. Perusahaan migas baik nasional dan internasional

melakukan efisiensi hampir 20,3% untuk menghadapi penurunan harga tersebut (Lisnawati, 2016).



Gambar 1.1 Perkembangan Harga Minyak Brent Tahun 2014-2016 (Bloomberg, 2016 dalam Lisnawati, 2016).

Indonesia merupakan negara kepulauan yang beriklim tropis dan banyak memiliki laut dangkal. Hal tersebut menyebabkan batuan reservoir karbonat sangat berlimpah di negara ini. Batuan karbonat merupakan salah satu batuan utama untuk terbentuknya hidrokarbon. Batuan karbonat juga sangat memungkinkan menjadi perangkap reservoir hidrokarbon jika memiliki porositas yang tinggi. Lebih dari 50% cadangan minyak dunia ditandai dengan keberadaan reservoir karbonat (Adler, 2011).

Reservoir adalah tempat berkumpulnya fluida yang terdiri dari minyak, gas dan air yang memiliki porositas dan permeabilitas yang baik. Salah satu batuan reservoir adalah batuan karbonat. Batuan karbonat terbentuk dari sisa-sisa jasad renik binatang dan tumbuhan (*shellfish* dan *algae*). Kalsium karbonat (mineral kalsit, CaCO_3) sebagai bagian inti dari batuan karbonat dapat dengan mudah terlarutkan oleh air, sehingga sangat mungkin terjadi pelarutan dan proses

kristalisasi kembali (*recrystallization*) setelah batuan ini terbentuk. Pelarutan ini mengakibatkan terbentuknya kavitas sehingga dapat menyimpan minyak dalam jumlah yang banyak (Adler, 2011). Selain itu, karena sifat batuan karbonat yang lebih rentan terhadap patahan dan pelipatan, dibandingkan dengan *sandstone*, maka akan memungkinkan terbentuknya rekahan (*fractures*) sebagai jalan untuk mengalirkan fluida reservoir (minyak, gas, dan air). Karakteristik batuan karbonat di tiap daerah berbeda-beda, hal itu disebabkan karena batuan karbonat mengandung tekstur, struktur, dan fosil yang berbeda-beda. Sampel batuan karbonat yang diteliti berasal dari Pusat Penelitian dan Pengembagangan Minyak dan Gas Bumi yang sering disebut LEMIGAS. LEMIGAS sendiri telah berkiprah dalam penelitian dan pengembangan teknologi minyak dan gas bumi lebih dari 50 tahun (lemigas.esdm.go.id).

Allah SWT memberikan rahmat kepada kita berupa bumi yang memiliki sumber daya alam yang sangat melimpah. Rahmat Allah yang satu ini sering kita ambil nikmatnya dengan cara eksplorasi. Sebagaimana Allah SWT berfirman dalam Q.S. Al-Jaatsiyah ayat 13 yang berbunyi:

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمَوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ
يَتَفَكَّرُونَ ﴿١٣﴾

Yang artinya:

“Dia telah menundukkan kepadamu apa yang ada dilangit dan apa yang ada di bumi semuanya, (sebagai rahmat) daripada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang yang berfikir” (Tafsir Fi Zhilalil-Qur’an jilid 10).

Meskipun eksplorasi memberikan banyak manfaat bagi manusia, tetapi tak jarang juga eksplorasi membawa *mudhorot* berupa kerusakan alam. Untuk mengurangi kerusakan di muka bumi karena kegiatan eksplorasi, Allah SWT telah memberi petunjuk kepada kita sesuai dengan firman-Nya dalam Q.S. Al-Jaatsiyah ayat 13 dengan cara berfikir sehingga kita mengerti tanda-tanda kekuasaan Allah. Salah satu cara berfikir yaitu dengan melakukan penelitian yang bisa memberikan manfaat sebesar mungkin serta meminimalisir kerusakan sekecil mungkin di muka bumi.

Peneliti dalam bidang fisika batuan, telah banyak membuat gebrakan baru. Penelitian-penelitian dalam bidang fisika batuan telah muncul sebagai solusi permasalahan yang ada. Model konvensional dari fisika batuan didasari dari relasi empirik dari perhitungan laboratorium dan model teoritik yang sering kali terlalu disederhanakan yang membuat analisa semakin lebih sulit (Andri et al, 2012).

Petrophysics laboratorium adalah kegiatan yang dilakukan skala laboratorium untuk melakukan pengujian pada sampel batuan reservoir dengan menginjeksikan secara langsung fluida seperti: merkuri, helium, maupun udara. Meskipun metode ini cukup representatif untuk mewakili perilaku fluida di dalam batuan, tetapi metode ini juga dapat merusak sampel batuan (*destructive*). Penginjeksian fluida dapat merusak dinding-dinding pori, simulasi tekanan dan temperatur dapat merusak karakteristik fisik batuan sehingga batuan tidak dapat digunakan kembali untuk penelitian.

Digital Rock Physics (DRP) hadir untuk menjawab tantangan tersebut. DRP merupakan salah satu metode berbasis citra digital sebagai salah satu metode

alternatif untuk mencari besaran-besaran fisis dari batuan dengan sifat lebih efektif dan efisien serta *non destructive*. Sifat fisis dari batuan yang biasanya dicari adalah porositas, *specific surface area*, dan permeabilitas. Dalam perkembangannya, DRP dapat menunjukkan properti fisik batuan dalam skala mikro dengan parameter mikrostruktur seperti: pori, ukuran butiran, konektivitas pori dan luas permukaan (Latief dkk., 2012 dalam Winardhi, 2016).

DRP mengubah sampel reservoir menjadi citra digital dengan alat yang bernama *Computed Tomography (CT) – Scan*. *CT-Scan* menghasilkan citra proyeksi dari sampel batuan reservoir. Dari proyeksi sampel tersebut dilakukan rekontruksi menjadi citra penampang atau sayatan. Citra hasil rekontruksi kemudian diolah untuk bisa mendapatkan besaran-besaran fisis batuan yang diinginkan seperti porositas, *specific surface area* dan permeabilitas. Nilai porositas, *specific surface area* dan permeabilitas dapat dimodelkan dengan *software CT-Vox* maupun *Paraview* sehingga didapat model 3-D porositas dan permeabilitas dari sampel batuan reservoir karbonat.

Model 3-D pada sampel batuan reservoir karbonat penting diketahui karena dapat memodelkan struktur pori dan model kecepatan aliran fluida yang ada pada sampel batuan reservoir karbonat. Model distribusi aliran fluida tersebut dapat digunakan sebagai model penunjang nilai porositas, permeabilitas, dan *specific surface area* yang didapatkan dari citra μ CT-Scan. Nilai porositas, *specific surface area* dan permeabilitas dari citra μ CT-Scan akan dibandingkan dengan hasil dari laboratorium petrofisika yang digunakan sebagai data referensi. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kualitas dari citra yang dihasilkan, diantaranya

adalah penentuan parameter fisis pengukuran, besar resolusi yang digunakan dan skenario pengambilan citra yang dilakukan dalam pemindaian dengan $\mu CT\text{-}Scan$.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai besaran fisis dari batuan berupa porositas ($\emptyset$), *specific surface area* (S), dan permeabilitas (k) dari sampel reservoir karbonat menggunakan citra batuan?
2. Bagaimana hasil model 3-D porositas ($\emptyset$) dan permeabilitas dari sub sampel batuan reservoir karbonat?
3. Bagaimana analisa hasil $\mu CT\text{-}Scan$ dibandingkan hasil laboratorium Petrofisika?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai besaran fisis batuan berupa porositas ($\emptyset$), *specific surface area* (SSA), dan permeabilitas (k) dari sampel reservoir karbonat menggunakan citra batuan.
2. Mengetahui hasil model 3-D porositas ($\emptyset$) dan permeabilitas (k) dari sub sampel batuan reservoir karbonat.
3. Menganalisa hasil yang di dapat dari $\mu CT\text{-}Scan$ dengan hasil pengukuran laboratorium Petrofisika yang dibuat sebagai data referensi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini terdapat pada sampel yang digunakan yaitu *plug core* reservoir dan sub *plug core* reservoir karbonat yang berasal dari Sumatra Selatan dengan formasi X pada kedalaman 1000 sekian meter, dengan ukuran 38,1 mm dan 5 mm. Pengukuran ini membandingkan satu buah sampel yang dibagi menjadi tiga bagian dan dua sub bagian dari citra sampel dengan tidak mereplika keadaan reservoir di bawah permukaan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sarana meningkatkan kualitas, tidak merusak sampel, efisien waktu dan tenaga, serta meminimalisir ketidakpastian di bidang eksplorasi batuan reservoir karbonat.
2. Memberikan informasi besaran fisis batuan berupa porositas ($\emptyset$), *specific surface area (SSA)*, dan permeabilitas (k) dari batuan reservoir karbonat dari Provinsi Sumatra Selatan dengan formasi X.
3. Sebagai referensi penelitian selanjutnya untuk meningkatkan kualitas eksplorasi di bidang batuan reservoir karbonat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian yang berjudul Karakterisasi dan Model 3-D Reservoir Karbonat Menggunakan *Micro Computed Tomography* (μ CT) diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Batuan reservoir karbonat memiliki parameter fisis sebagai berikut:

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Porositas tanpa Histogram

Jenis Sampel	Hasil Lab. Petrofisika	Nilai Porositas DRP dengan Histogram		Nilai <i>Spesific Surface Area</i> <i>Global Otshu</i>	Nilai Permeabilitas (Palabos)	
		<i>Global Otshu</i>	<i>Lakoal Adaptive</i>		Kode C1	Kode C2
Sampel A	13,9%	13,2 %	7,9 %	Orde 10^{-1} s.d 10^{-2}	1,8 mD	11,3 mD
Sampel A1		37,0 %	25,4 %			
Sampel A3		13,9 %	16,3%			

2. Hasil pengolahan yang dimodelkan secara 3-D menggunakan CT-Vox telah memberikan hasil yang cukup baik dengan terlihatnya konektivitas pori pada citra sampel.
3. Dari sampel-sampel yang telah dibuat didapatkan nilai porositas yang sesuai dengan nilai porositas yang diukur di laboratorium. Sedangkan nilai permeabilitasnya belum sesuai. Hal ini dikarenakan iterasi yang digunakan masih kurang menyebabkan nilai permeabilitas dalam perhitungan lattice boltzmann belum memberikan hasil yang stabil.

5.2 Saran

Adapun hasil dari penelitian ini memerlukan kajian lebih lanjut antara lain:

1. Perlu dilakukan percobaan dengan sampel plug core reservoir karbonat yang lain sehingga metode yang digunakan lebih valid dengan hasil data pengolahan yang lebih akurat.
2. Perlu dilakukan pengolahan nilai permeabilitas dengan iterasi yang lebih besar, supaya hasil permeabilitas yang didapatkan lebih konstan.
3. Perlu dilakukan perhitungan turtositas supaya nilai permeabilitas dari Palabos bisa di bandingkan dengan nilai dari persamaan Kozeny-Carman.
4. Perlu dilakukan percobaan sampel thin slice pada plug core batuan reservoir karbonat untuk melihat mineral penyusunnya sehingga dapat menguatkan hasil dari penelitian yang dilakukan. Perlu dilakukan percobaan sampel *thin slice* pada *plug core* batuan reservoir karbonat untuk melihat mineral penyusunnya sehingga dapat menguatkan hasil dari penelitian yang dilakukan.

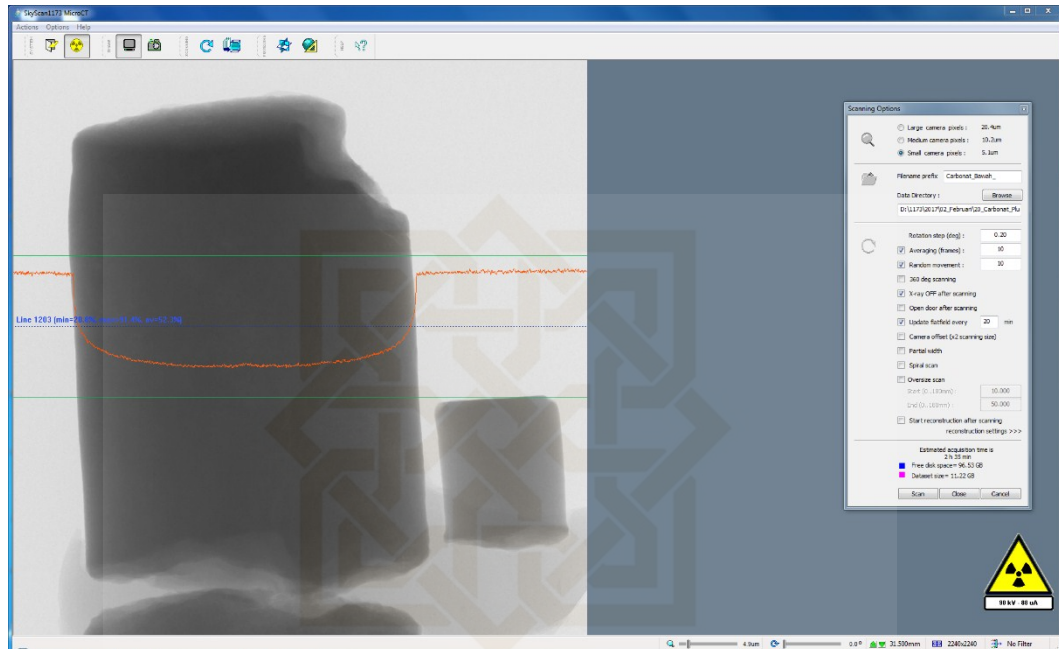
DAFTAR PUSTAKA

- Aaltosalmi, U. (2005). *Fluid Flow in Porous Media with the Lattice-Boltzmann Method, Dissertation*, University of Jyvaskyla, Finland.
- Adler, J., (2011). *Image Processing Sayatan Batuan Gamping dengan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) Menggunakan Matlab dan Linux* (Studi kasus: Rajamandala-Padalarang). Majalah Ilmiah UNIKOM Vol. 12, No1.
- Andri, H., Combaret, N., Dvorkin, J., Glatt, E., Han, J., Kabel, M., ... & Marsh, M. (2013). *Digital Rock Physics Benchmarks-Part1: Imaging and Segmentation. Computers & Geosciences*, 50, 25-32.
- Annisa R, T, W., Fourier, D, E, L., Almira. A., Fatkhan., Handoyo., (2014). *Identification Cement By Using Digital Rock Imaging And Analysis Microscopic Image*. Solo. PIT HAGI 39.
- Amyx, J, W., Bass, D, M., & Whiting, R, I., (1960). *Petroleum Reservoir Engineering: physical properties*, 4(2), 229-240.
- Bimantoro, D. A. (2017) *Clustering Citra Menggunakan Algoritma Fuzzy C-Mean Untuk Menilai Kesesuaian Lahan Pada Tanaman Cengkeh*. Yogyakarta. UIN Sunan Kalijaga.
- Boas, F. E., & Fleischmann, D. (2012). *CT Artifacts: Causes and Reduction Techniques. Imaging in Medicine*, 4(2), 229-240.
- Chen, S. dan Doolen, G.D. (1998): *Lattice Boltzmann Method for Fluid Flow*, Annu. Rev. Fluid Mech, 30, 329-364.
- Dunham, R. J., 1962, Classification of Carbonate Rocks according to depositional texture, in Ham, W. E., ed., Classification of carbonate rocks. Am. Association Petroleum Geologist Mem.1, p.108-121
- Handoyo., Fatkhan., Fourier, D, E, L., Thaqibul F, N., Annisa, R., (2014). *Digital Rock Physics Application: Structure Parameters Characterization, Materials Identification, Fluid Modeling, and Elastic Properties Estimation of Saturated Sandstone*. Solo. PIT HAGI 39.
- <https://www.bruker.com/products/microtomography/micro-ct-for-sample-scanning/skyscan-1173/technical-details.html> [diakses tanggal 14-03-2017 pukul 09.52]
- Irayani, Z. (2014). *Pemodelan Mikrostruktur Batuan Sedimen Berpengotor Lempung Kaolinit Dan Estimasi Anisotropi Permeabilitas Menggunakan Pendekatan Grup Renormalisasi*. Bandung. ITB.
- K., Remeysen., R., Swennen. (2007). *Application of microfocus computed tomography in carbonate reservoir characterization: Possibilities and limitations. Marine and Petroleum Geology. ScienceDirect Publisher*.
- Kachlreß, M. (2008). *Micro-CT. In Molecular Imaging I* (pp. 23-52). Springer Berlin Heidelberg
- Lismawati. (2016). *Dampak Penurunan Harga Minyak Terhadap Perekonomian Indonesia*. Info Singkat Ekonomi dan Kebijakan Publik. Vol. VIII, No. 02/II/P3DI.
- Matyka, M., Khalili, A. dan Koza, Z. (2008): *Tortuosity-Porosity Relation in Porous Media Flow*, Physical Review E, 78, 026306

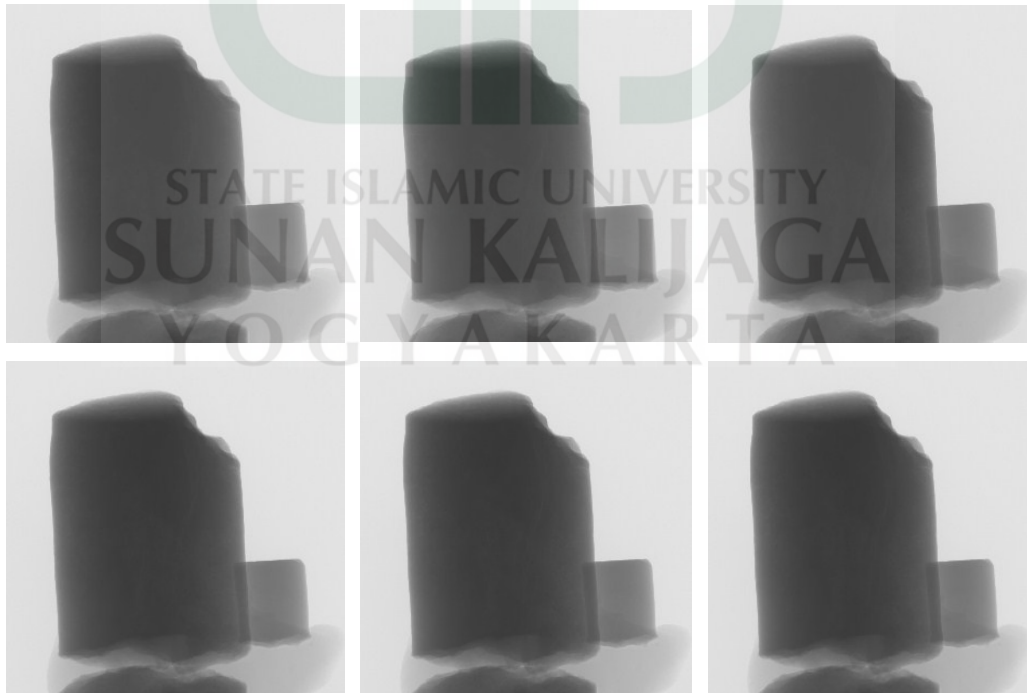
- Mavko, G., Mukerji, T. dan Dvorkin, J. (1998): *The Rock Physics Handbook : Tools for Seismic Analysis in Porous Media*, Cambridge University Press
- Milliman, J. D. (1974). *Marine carbonates. Recent sedimentary carbonates part 1*. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, & Berlin. xv + 375 p. \$25.50.
- Prasad, J. C., Sreenivasi, T., Rao, M.V.G. (2011). *Polar Wavelet-Gaussian Filter for Ring Artifact Suppression in CT Imaging Systems. International Journal of Computer Science & Communication Networks, Vol 1(2), pp 186-195.*
- Rachman, A. (2015). *Aplikasi Teknik Computed Tomography (CT) Scan dalam Penelitian Porositas Tanah dan Perkembangan Akar*. Bogor. Balai Penelitian Tanah. ISSN 1907-0799.
- Solomon, C. & Breckon, T. (2011). *Fudamental of Digital Image Processing: A Practical Approach with Examples in MATLAB*. Wiley-Blackwell Publisher.
- Segal, E & Ellingson, W.A. (1987). *A Linearization Beam-Hardening Correction for X-Ray Computed Tomography. Spinger: Review of Progres in Qautitative Nondestructive Evaluation*
- T. R. Zakirov., A. A. Galeev., E. A. Korolev and E. O. Statsenko. (2016). *Flow Properties of Sandstone and Carbonate Rocks by X-ray Computed Tomography*. Russia. Kazan Federal University.
- Tafsir Fi Zhilalil-Qur'an di bawah naungan Al-Qur'an jilid 10/ penulis, Sayyid Quthb; penerjemah, As'ad Yasin, dkk. Penyunting, Tim GIP.-Cet. 1- Jakarta: Gema Insani Press, 2004.
- Tiab, D., Donaldsen, E.C. (2004). *Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties*. Elsevier
- Wildenschild, D. dan Sheppard, A.P. (2012): *X-ray Imaging and Analysis Technique for Quantifying Pore-scale Structure and Process in Subsurface Porous Medium System*, Advance in Water Resources, 48, 217–246.
- Winardhi, C., W. (2016). *Pengembangan Teknik Akuisisi, Rekontruksi, dan Analisis Digital Untuk Sampel Core Plug Reservoir BatuPasir Ukuran Besar*. Bandung. ITB.
- Yousuf, M, A., & Asaduzzan, M. (2009). *An Efficeient Ring Artifact Reduction Method Based on Projection Data for Micro-CT Images*. *Journal of Scientific Research*.

LAMPIRAN

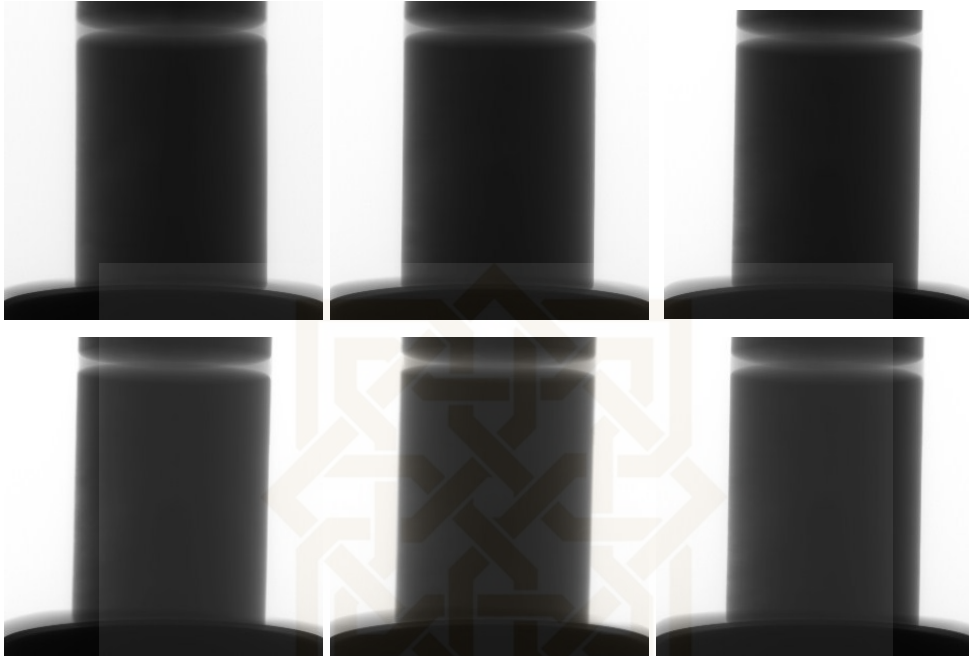
A. Parameter Pemindaian



B. Hasil citra Sampel A3



C. Hasil Citra Sampel A

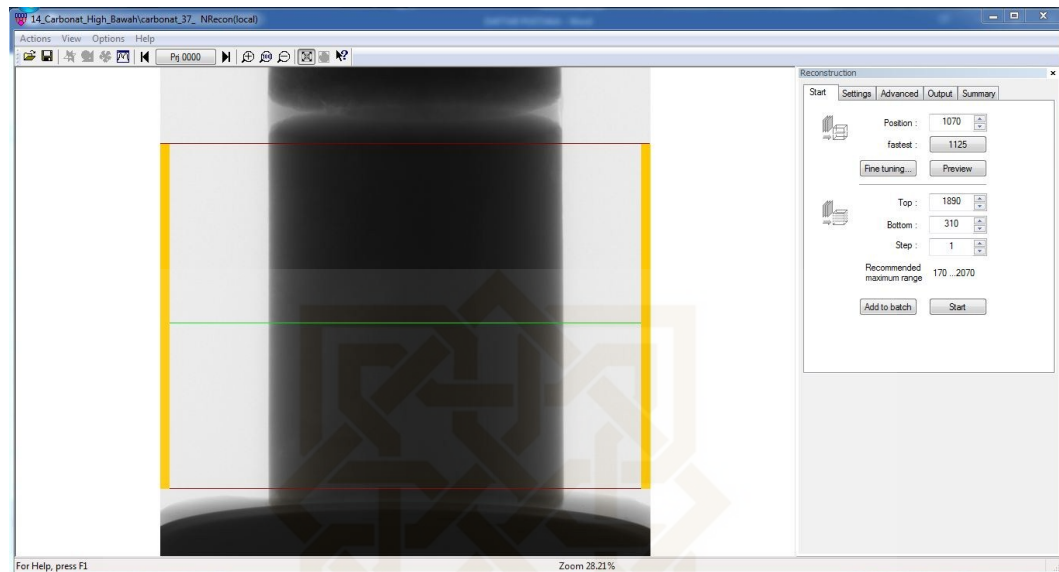


D. Hasil Citra Sampel A1

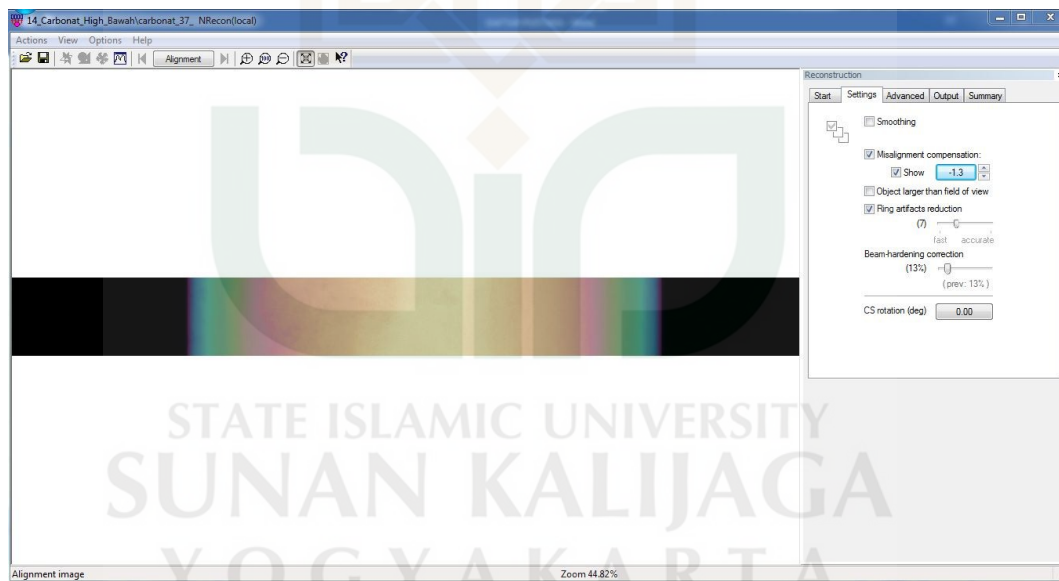


STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

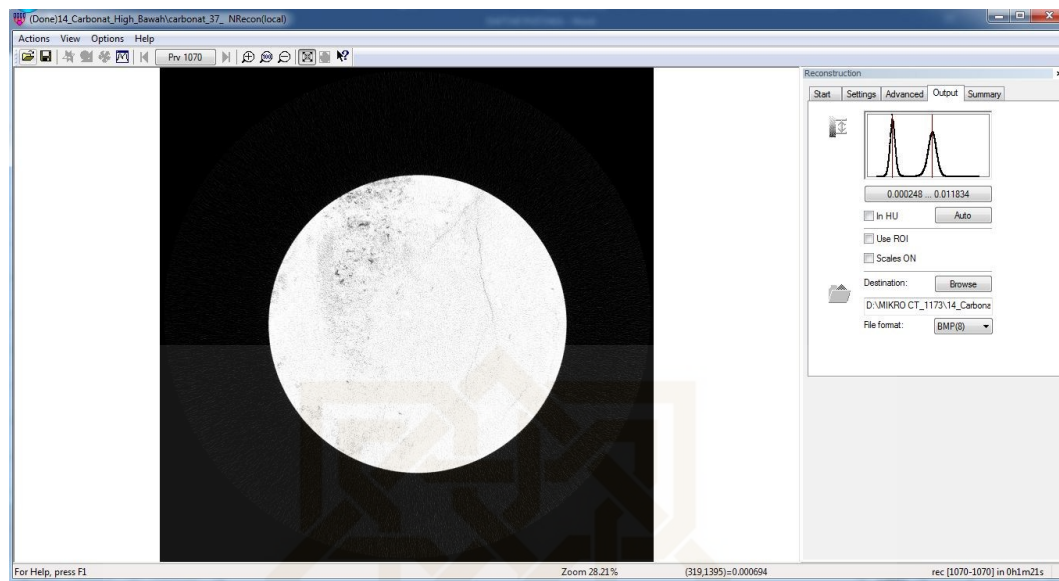
E. Rekontruksi dengan menggunakan Nrecon.



Gambar E.1 Data Rekontruksi

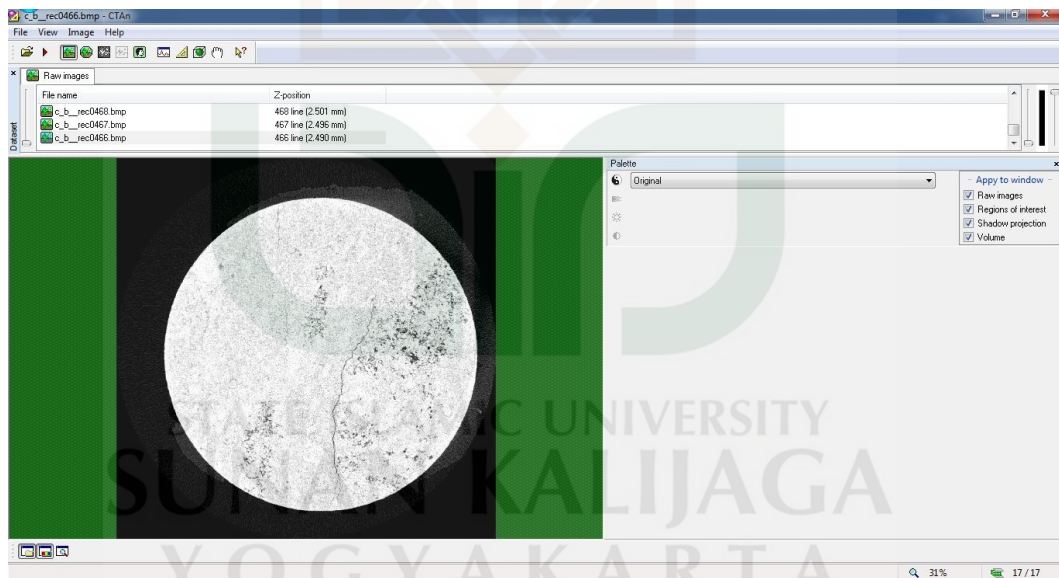


Gambar E.2 Penentuan *Beam of Hardening* dan ROA

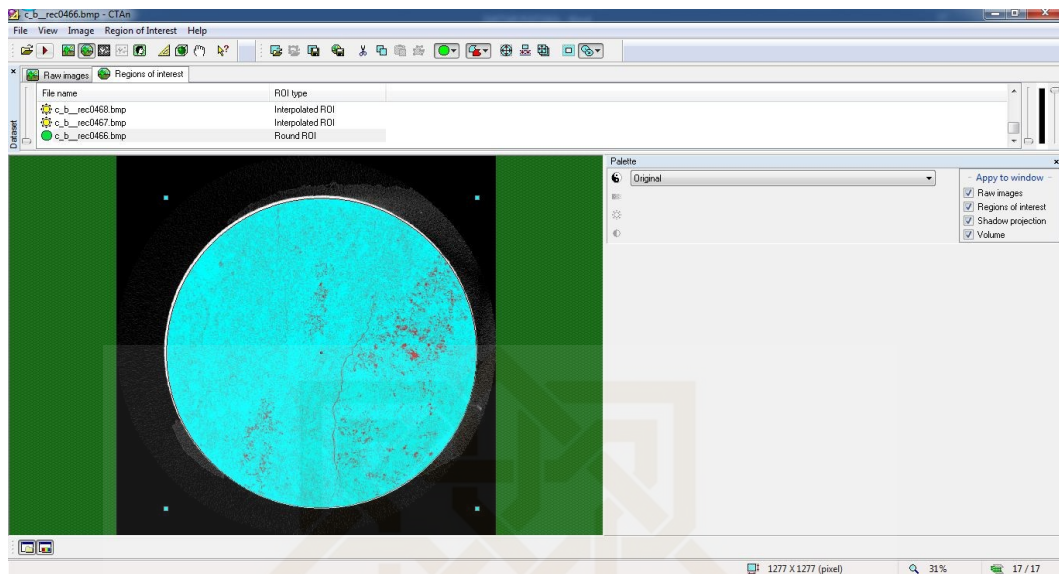


Gambar E.3 Hasil Rekontruksi dengan Melihat Histogram

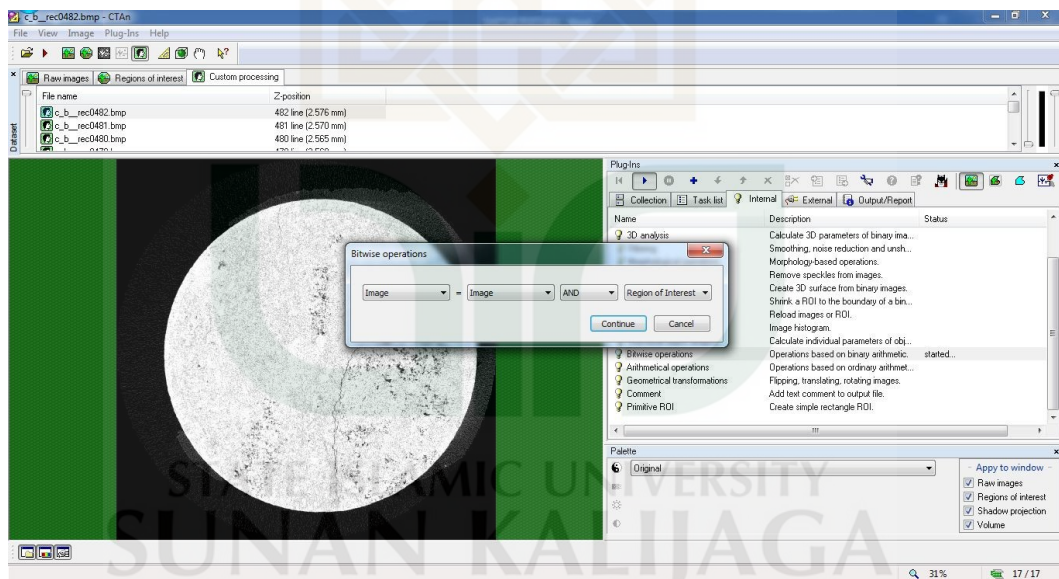
F. Perhitungan Porositas dengan CT-Analizer



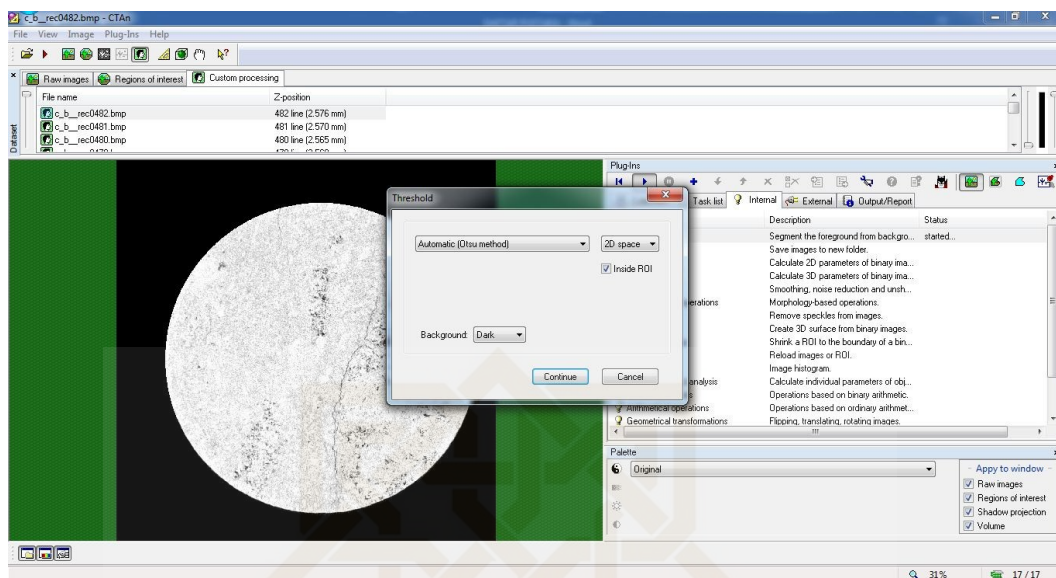
Gambar F.1 Data Citra Grayscale



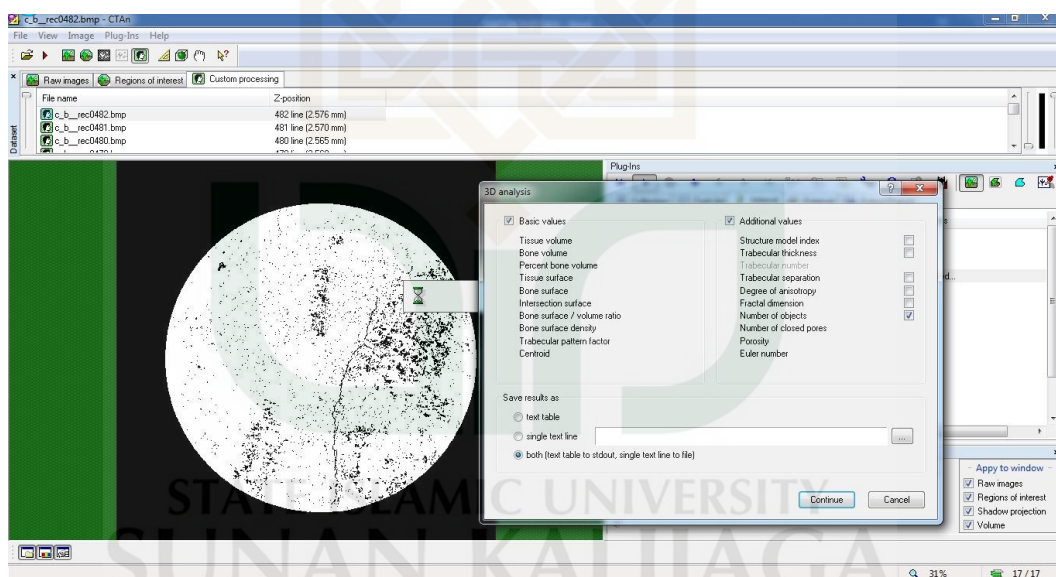
Gambar F.2 Penentuan *Region of Interest*



Gambar F.3 Bitwise Operation



Gambar F.4 Thresholding



Gambar F.5 3D Analyze

G. Hasil Perhitungan CT- Analyser

Loaded dataset:, D:\MIKRO

CT_1173\21_Carbonat_Plug_Bawah\C_B_Rec\c_b__rec

[03/26/17 14:04:17] Bitwise operations

<Image> = <Image> AND <Region of Interest>

[03/26/17 14:05:59] Bitwise operations done

[03/26/17 14:06:38] Thresholding (2D space) inside ROI

Mode, Automatic (Otsu method)

Background, Dark

Dataset folder, D:\MIKRO CT_1173\21_Carbonat_Plug_Bawah\C_B_Rec\

Lower grey threshold, Upper grey threshold, Filename

119, 255, c_b__rec1466.bmp

119, 255, c_b__rec1465.bmp

119, 255, c_b__rec1464.bmp

119, 255, c_b__rec1463.bmp

119, 255, c_b__rec1462.bmp

119, 255, c_b__rec1461.bmp

119, 255, c_b__rec1460.bmp

119, 255, c_b__rec1459.bmp

119, 255, c_b__rec1458.bmp

119, 255, c_b__rec1457.bmp

119, 255, c_b__rec1456.bmp

119, 255, c_b__rec1455.bmp

119, 255, c_b__rec1454.bmp

119, 255, c_b__rec1453.bmp

119, 255, c_b__rec1452.bmp

119, 255, c_b__rec1451.bmp

119, 255, c_b__rec1450.bmp

111, 255, c_b__rec0479.bmp

111, 255, c_b__rec0478.bmp

111, 255, c_b__rec0477.bmp

[03/26/17 14:08:08] Thresholding done

[03/26/17 14:09:01] Save bitmaps(image inside ROI):

Destination folder: D:\MIKRO

CT_1173\21_Carbonat_Plug_Bawah\C_B_Rec\VOI

File format: bmp

Resize to the ROI bounds: Off

Number of saved files: 990

Loaded dataset:, D:\MIKRO

CT_1173\21_Carbonat_Plug_Bawah\C_B_Rec\c_b__rec

Loaded dataset:, D:\MIKRO

CT_1173\21_Carbonat_Plug_Bawah\C_B_Rec\c_b__rec

[03/26/17 14:15:48] Bitwise operations

<Image> = <Image> AND <Region of Interest>

[03/26/17 14:18:23] Bitwise operations done

[03/26/17 14:18:49] Thresholding

Mode, Global

Lower grey threshold, 103

Upper grey threshold, 255
 [03/26/17 14:19:22] Thresholding done

 [03/26/17 14:20:43] 3D analysis

Date and time, 26.03.2017 14:20
 Operator identity, Kyko
 Computer name, KYKO-PC
 Computation time, 00:12:22
 Dataset, c_b_rec
 Location, D:\MIKRO CT_1173\21_Carbonat_Plug_Bawah\C_B_Rec\
 MORPHOMETRY RESULTS

 Description, Abbreviation, Value, Unit
 Number of layers, 990
 Lower vertical position, 477.00000, pixel
 Upper vertical position, 1466.00000, pixel
 Pixel size, 5.34399, μm
 Lower grey threshold, 103
 Upper grey threshold, 255
 Tissue volume, TV, 165408378.66667, pixel^3
 Bone volume, BV, 142408300.67918, pixel^3
 Percent bone volume, BV/TV, 86.09497, %
 Tissue surface, TS, 1848539.70820, pixel^2
 Bone surface, BS, 42126171.50241, pixel^2
 Intersection surface, i.S, 1332118.25484, pixel^2
 Bone surface / volume ratio, BS/BV, 0.29581, $1/\text{pixel}$
 Bone surface density, BS/TV, 0.25468, $1/\text{pixel}$
 Trabecular pattern factor, Tb.Pf, -1.63439, $1/\text{pixel}$
 Centroid (x), Crd.X, 557.62521, pixel
 Centroid (y), Crd.Y, 394.33226, pixel
 Centroid (z), Crd.Z, 984.45367, pixel
 Moment of inertia (x), MMI(x), 13418126529729.33600, pixel^5
 Moment of inertia (y), MMI(y), 13421514253773.85900, pixel^5
 Moment of inertia (z), MMI(z), 3712174319920.75780, pixel^5
 Polar moment of inertia, MMI(polar), 15275907551711.97700, pixel^5
 Radius of gyration (x), Gr.R(x), 309.70650, pixel
 Radius of gyration (y), Gr.R(y), 309.74560, pixel
 Radius of gyration (z), Gr.R(z), 162.89906, pixel
 Polar radius of gyration, Gr.R(polar), 330.45163, pixel
 Product of inertia (xy), Pr.In(xy), -24524874680.18359, pixel^5
 Product of inertia (xz), Pr.In(xz), 17422770677.94531, pixel^5
 Product of inertia (yz), Pr.In(yz), -37442892349.71094, pixel^5
 Total orientation (theta), T.Or(theta), 0.24419, $^\circ$
 Total orientation (phi), T.Or(phi), 295.05399, $^\circ$
 Number of objects, Obj.N, 28223,

Number of closed pores, Po.N(cl), 427688,
 Volume of closed pores, Po.V(cl), 1976295.57083, pixel³
 Surface of closed pores, Po.S(cl), 6729352.52565, pixel²
 Closed porosity (percent), Po(cl), 1.36877, %
 Volume of open pore space, Po.V(op), 21023782.41666, pixel³
 Open porosity (percent), Po(op), 12.71023, %
 Total volume of pore space, Po.V(tot), 23000077.98749, pixel³
 Total porosity (percent), Po(tot), 13.90503, % mb
 Euler number, Eu.N, 839717,
 Connectivity, Conn, -383806,
 Connectivity density, Conn.Dn, -0.00232, 1/pixel³

H. Permeability dengan Palabos

```

/* This file is part of the Palabos library.
 *
 * Copyright (C) 2011-2015 FlowKit Sarl
 * Route d'Oron 2
 * 1010 Lausanne, Switzerland
 * E-mail contact: contact@flowkit.com
 *
 * The most recent release of Palabos can be downloaded at
 * <http://www.palabos.org/>
 *
 * The library Palabos is free software: you can redistribute it and/or
 * modify it under the terms of the GNU Affero General Public License as
 * published by the Free Software Foundation, either version 3 of the
 * License, or (at your option) any later version.
 *
 * The library is distributed in the hope that it will be useful,
 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See
 * the
 * GNU Affero General Public License for more details.
 *
 * You should have received a copy of the GNU Affero General Public License
 * along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.
 */

```

```

/* Main author: Wim Degruyter */

```

```

#include "palabos3D.h"
#include "palabos3D.hh"
#include <vector>
#include <cmath>

```

```

using namespace plb;
using namespace std;

typedef double T;
#define DESCRIPTOR descriptors::D3Q19Descriptor

// This function object returns a zero velocity, and a pressure which decreases
// linearly in x-direction. It is used to initialize the particle populations.
class PressureGradient {
public:
    PressureGradient(T deltaP_, plint nx_) : deltaP(deltaP_), nx(nx_)
    { }
    void operator() (plint iX, plint iY, plint iZ, T& density, Array<T,3>&
velocity) const
    {
        velocity.resetToZero();
        density = 1. - deltaP*DESCRIPTOR<T>::invCs2 / (T)(nx-1) * (T)iX;
    }
private:
    T deltaP;
    plint nx;
};

void porousMediaSetup( MultiBlockLattice3D<T,DESCRIPTOR>& lattice,
    OnLatticeBoundaryCondition3D<T,DESCRIPTOR>*&
boundaryCondition,
    MultiScalarField3D<int>& geometry, T deltaP)
{
    const plint nx = lattice.getNx();
    const plint ny = lattice.getNy();
    const plint nz = lattice.getNz();

    pcout << "Definition of inlet/outlet." << endl;
    Box3D inlet (0,0, 1,ny-2, 1,nz-2);
    boundaryCondition->addPressureBoundary0N(inlet, lattice);
    setBoundaryDensity(lattice, inlet, (T) 1.);

    Box3D outlet(nx-1,nx-1, 1,ny-2, 1,nz-2);
    boundaryCondition->addPressureBoundary0P(outlet, lattice);
    setBoundaryDensity(lattice, outlet, (T) 1. -
deltaP*DESCRIPTOR<T>::invCs2);

    pcout << "Definition of the geometry." << endl;
    // Where "geometry" evaluates to 1, use bounce-back.

```



```

defineDynamics(lattice, geometry, new BounceBack<T,DESCRIPTOR>(),
1);
// Where "geometry" evaluates to 2, use no-dynamics (which does nothing).
defineDynamics(lattice, geometry, new NoDynamics<T,DESCRIPTOR>(),
2);

pcout << "Initilization of rho and u." << endl;
initializeAtEquilibrium( lattice, lattice.getBoundingBox(),
PressureGradient(deltaP, nx) );

lattice.initialize();
delete boundaryCondition;
}

void writeGifs(MultiBlockLattice3D<T,DESCRIPTOR>& lattice, plint iter)
{
    const plint nx = lattice.getNx();
    const plint ny = lattice.getNy();
    const plint nz = lattice.getNz();

    const plint imSize = 600;
    ImageWriter<T> imageWriter("leeloo");

    // Write velocity-norm at x=0.
    imageWriter.writeScaledGif( createFileName("ux_inlet", iter, 6),
        *computeVelocityNorm(lattice, Box3D(0,0, 0,ny-1, 0,nz-1)),
        imSize, imSize );

    // Write velocity-norm at x=nx/2.
    imageWriter.writeScaledGif( createFileName("ux_half", iter, 6),
        *computeVelocityNorm(lattice, Box3D(nx/2,nx/2, 0,ny-1, 0,nz-1)),
        imSize, imSize );
}

void writeVTK(MultiBlockLattice3D<T,DESCRIPTOR>& lattice, plint iter)
{
    VtkImageOutput3D<T> vtkOut(createFileName("vtk", iter, 6), 1.);
    vtkOut.writeData<float>(*computeVelocityNorm(lattice), "velocityNorm",
1.);
    vtkOut.writeData<3,float>(*computeVelocity(lattice), "velocity", 1.);
}

T computePermeability (

```

```

        MultiBlockLattice3D<T,DESCRIPTOR>& lattice, T nu, T deltaP,
Box3D domain )
{
    pcout << "Computing the permeability." << endl;

    // Compute only the x-direction of the velocity (direction of the flow).
    plint xComponent = 0;
    plint nx = lattice.getNx();

    T meanU = computeAverage (
        *computeVelocityComponent (lattice, domain, xComponent )
    );

    pcout << "Average velocity    = " << meanU          << endl;
    pcout << "Lattice viscosity nu = " << nu            << endl;
    pcout << "Grad P              = " << deltaP/(T)(nx-1) << endl;
    pcout << "Permeability        = " << nu*meanU / (deltaP/(T)(nx-1)) << endl;

    return meanU;
}

int main(int argc, char **argv)
{
    plbInit(&argc, &argv);

    if (argc!=7)
    {
        pcout << "Error missing some input parameter\n";
        pcout << "The structure is :\n";
        pcout << "1. Input file name.\n";
        pcout << "2. Output directory name.\n";
        pcout << "3. number of cells in X direction.\n";
        pcout << "4. number of cells in Y direction.\n";
        pcout << "5. number of cells in Z direction.\n";
        pcout << "6. Delta P .\n";
        pcout << "Example: " << argv[0] << " twoSpheres.dat tmp/ 48 64 64
0.00005\n";
        exit (EXIT_FAILURE);
    }
    std::string fNameIn = argv[1];
    std::string fNameOut = argv[2];

    const plint nx = atoi(argv[3]);
    const plint ny = atoi(argv[4]);
    const plint nz = atoi(argv[5]);

```

```

const T deltaP = atof(argv[6]);

global::directories().setOutputDir(fNameOut+"/");

const T omega = 1.0;
const T nu = ((T)1/omega-0.5)/DESCRIPTOR<T>::invCs2;

pcout << "Creation of the lattice." << endl;
MultiBlockLattice3D<T,DESCRIPTOR> lattice(nx,ny,nz, new
BGKdynamics<T,DESCRIPTOR>(omega));
// Switch off periodicity.
lattice.periodicity().toggleAll(false);

////////

MultiScalarField3D<int> geometry(nx,ny,nz);
MultiScalarField3D<int> slice(1,ny,nz);
for (plint iX=0; iX<nx-1; ++iX) {
    string fname = createFileName("slice_", iX, 4)+"_truc.dat";
    pcout << "Reading slice " << fname;
    plb_ifstream geometryFile(fNameIn.c_str());
    if (!geometryFile.is_open()) {
        pcout << "Error: could not open geometry file " << fNameIn << endl;
        return -1;
    }
    geometryFile >> slice;
    copy(slice, slice.getBoundingBox(), geometry, Box3D(iX,iX,0,ny-1,0,nz-
1));
}

//////// STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
SEKELoa KARTa

pcout << "Reading the geometry file." << endl;
plb_ifstream geometryFile(fNameIn.c_str());
if (!geometryFile.is_open()) {
    pcout << "Error: could not open geometry file " << fNameIn << endl;
    return -1;
}
geometryFile >> geometry;

pcout << "nu = " << nu << endl;
pcout << "deltaP = " << deltaP << endl;
pcout << "omega = " << omega << endl;
pcout << "nx = " << lattice.getNx() << endl;
pcout << "ny = " << lattice.getNy() << endl;
pcout << "nz = " << lattice.getNz() << endl;

```

```

    porousMediaSetup(lattice,
createLocalBoundaryCondition3D<T,DESCRIPTOR>(), geometry, deltaP);

    // The value-tracer is used to stop the simulation once it has converged.
    // 1st parameter:velocity
    // 2nd parameter:size
    // 3rd parameter:threshold
    // 1st and second parameters are used for the length of the time average
    (size/velocity)
    util::ValueTracer<T> converge(1.0,1000.0,1.0e-4);

    pcout << "Simulation begins" << endl;
    plint iT=0;

    const plint maxT = 30000;
    for (;iT<maxT; ++iT)
    {
        if (iT % 20 == 0) {
            pcout << "Iteration " << iT << endl;
        }
        if (iT % 500 == 0 && iT>0) {
            writeGifs(lattice,iT);
        }

        lattice.collideAndStream();
        converge.takeValue(getStoredAverageEnergy(lattice),true);

        if (converge.hasConverged())
        {
            break;
        }
    }

    pcout << "End of simulation at iteration " << iT << endl;

    pcout << "Permeability:" << endl << endl;
    computePermeability(lattice, nu, deltaP, lattice.getBoundingBox());
    pcout << endl;

    pcout << "Writing VTK file ..." << endl << endl;
    writeVTK(lattice,iT);
    pcout << "Finished!" << endl << endl;
}

```

I. Waktu Pelaksanaan

NO	Kegiatan	Waktu															
		Februari				Maret				April				Mei			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pengumpulan Referensi																
2	Pengambilan Sampel																
3	Pemindaian Sampel																
4	Pengolahan Data																
5	Analisa dan Hasil Pengolahan																
6	Penyusunan Laporan Tugas Akhir																
7	Pertanggungjawaban hasil penelitian																
8	Publikasi																

CURRICULUM VITAE



DATA PRIBADI

- Nama : Mahendra Risky Habibi
- Jenis Kelamin : Laki-Laki
- Alamat : Jl. Kaliurang km 8 Ponpes Budi Mulia. Sleman.
Yogyakarta.
- TTL : Blitar, 31 Oktober 1994
- Status : Belum menikah
- Agama : Islam
- Phhone : 0852344478894
- E-mail : makybi13@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

- Sedang menempuh S1 Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- 2010 – 2013 : SMKN 1 Blitar Jurusan Teknik Komputer dan Jaringan.
- 2007 – 2010 : MTsN 1 Blitar.
- 2001 – 2007 : MI Perwanida Blitar.

PENGALAMAN KERJA

- Januari 2015 – Sekarang. Private teacher.
- Maret 2013 – Juni 2013. Admin & Customer Service di PT. Credo Indoelektra Kota Blitar.
- Juni 2012 – Agustus 2012. Service Komputer (Repair & Buiding), Instalasi Jaringan di Citra Komputer Kota Mojokerto.
- April 2012 – Juni 2012. Admin di Kantor Kecamatan Kepanjenlor Kota Blitar.

PENGALAMAN ORGANISASI

- 2015 – Sekarang Ketua Studi Club Geofisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- 2013 – Sekarang Senat Padepokan Budi Mulia Yogyakarta.
- 2015 – 2016 Anggota Divisi Sosial Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI) Regional III.
- 2014 – 2015 Anggota Divisi Humas Studi Club Geofisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- 2014 Sekertaris Umum HMI Komisariat Sains dan Teknologi.
- 2013 Anggota HMI Komisariat Sains dan Teknologi.